

新規灌漑水源の富栄養化と水質障害対策 藻類の発生に関与する二、三の要因

長井武雄*・福田啓子**・山本太平***

藤山英保*・佐々木寿****

平成元年5月31日受付

Measures against the Troubles by the Pollution of Irrigation Water from the Newly Exploited Water Resource : Some Factors Related on the Growth of Algal

Takeo NAGAI*, Keiko FUKUTA**, Tahei YAMAMOTO***,
Hideyasu FUJIYAMA* and Hisashi SASAKI****

The growth of algal in the irrigation water from the Kasechi river was investigated under both conditions of 1) sunlight (three illuminances at 25 °C) and 2) controlled environment (combination of three temperatures and four illuminances). A part of the water was enriched with N(KNO₃) and P(KH₂PO₄).

1. Sunlight condition

The five *Chlorophyceae* (*Eudorina*, *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus* and *Chodatella*), two *Cyanophyceae* (*Gloeocapsa* and *Phormidium*) as well as some *Bacillariophyceae* were found in 28 days incubation.

The growth of algal reached to a plateau two weeks after the start of incubation. The growth was influenced by the concentration of N and P. As the illuminance decreased, the cell number of algal decreased.

2. Controlled environment

No growth was found under 40 lx. The cell numbers were large above 40×10² lx. under the condition of 25°C and below 40×10² lx. under the condition of 30°C.

The enrichment of the water stimulated the growth of *Dictyosphaerium* and *Eudorina* as well as *Scenedesmus*.

* 鳥取大学農学部農林総合科学科資源利用化学講座

* Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University

** 鳥取大学教養部生物学教室

** Biology Laboratory, Faculty of General Education, Tottori University

*** 鳥取大学農学部砂丘利用研究施設乾燥地農学情報解析室

*** Division of Arid Land Agricultural Information Analysis, Sand Dune Research Institute, Tottori University

**** 鳥取大学農学部砂丘利用研究施設砂丘環境部門

**** Division of Meteorological Environment, Sand Dune Research Institute, Tottori University

When the water was enriched and inoculated with pre-incubated algal, the effect of illuminance on the growth was larger than that of temperature on the 9th day after the start of incubation. The cell number was largest under $40 \times 10^2 \text{ lx}$. On the 15th day, temperature also affected the growth. The cell number was $35 > 25 > 30^\circ\text{C}$ and $40 \times 10^2 > 400 \times 10^2 > 4 \times 10^2 \text{ lx}$.

結 言

鳥取県中部農業地域の普通畑や樹園地の営農は殆どが天水に依存している。したがって、常時干ばつの脅威にさらされており、これを解決するためには水利事業による水源の新規開発が必要である。このため、昭和54年以降、大栄町、東伯町、赤碕町の農地2,960haを対象に農業用水を確保すべく、国営の広域農業水利事業による灌漑事業が実施されている。

ところで、近年社会環境の急激な変化とともに、河川や湖沼の人為的富栄養化が著しく進んでいることは周知のところである。農村部も例外ではなく、集落排水や家畜糞尿はもちろんのこと、最近では肥料・農薬の流出さえも水質汚濁を引き起こす要因となることが指摘されている⁴⁾。

農業用水の汚濁が農業に与える影響としては、酸、アルカリや過Nなど汚濁物質が直接的に生育・収量に悪影響を与える場合、カドミウムなどのように食品としての生産物の品質に対して害を与える場合が一般的である。しかし、このほか農業用灌漑施設に対する影響にも無視できないものがあり、近年では用水の人為的富栄養化による生物の発生で灌漑用パイプの詰まる事故が増えている。とくに、用水に発生した藻類による影響は水圧が高く、ノズル孔の比較的大きい(口径2～6 mm)スプリンクラーの場合より水圧が低く滴下孔の小さい(口径0.1～0.4 mm)ドリップ灌漑の方の場合が大きい。これは従来の除じん法に有効なものがないためであり、この種の障害事例が全国的に急増し、施設野菜の養水分管理に大きな問題を生じている^{1,5)}。

乾燥地農業の先進国であるイスラエルでも、ドリップ灌漑施設においてアオコがドリップ滴下孔やフィルターの目詰まりの原因になっているという報告があり、その対策が検討されているようである²⁾。

さきに述べた東伯地区では、普通畑480haのうち370haでスイカ、メロンを栽培しており、その90%以上がマルチトンネル栽培で占められている。このような栽培法の

場合、灌漑方式はチューブあるいはドリップ灌漑方式を採らざるを得ない。

したがって、現在実施中の広域水利事業においては、単に必要な量の獲得のみならず、良質な用水の確保も重要な課題になっている。昭和63年度に実施した東伯地区主要河川の水質調査の結果によると、加勢蛇川矢下頭首工の試水など西高尾ダム水源の一部には、NやP濃度に農業用水の水質基準を超えたものがあり、明らかに富栄養化の傾向がみられている。そして、将来これらの水源を灌漑用水として供用する増合、ダム湖あるいは調整池における藻類の発生が懸念されている⁷⁾。

したがって、本研究では加勢蛇川矢下頭首工(鳥取県東伯町)から採取した原水を供試し、自然光条件下および光、温度の環境を制御した条件下で藻類を培養し、その発生と組成変化について若干の検討を行った。

実験装置および方法

実験1. 自然光条件下で発生した藻類の検索

この実験においては、西高尾ダム集水域の主要河川である加勢蛇川の矢下頭首工(鳥取県東伯町)から採取した原水にNおよびPを富化し、これを自然光条件下(気温一定)に28日間おいて、この間に発生した藻類の種類を検索するとともに細胞数を計測した。

a) 藻類の培養

矢下頭首工から採取した原水に適宜 KNO_3 と KH_2PO_4 を加えて、NとP濃度(ppm)がそれぞれ0.5—0.05(A区)、1.0—0.10(B区)および1.5—0.15(C区)となるよう3種の富栄養化処理を行った。これらを培養液としてそれぞれの1 lをプラスチック製透明ビーカーに入れ、これを気温25°Cの恒温培養室内に置き、溶液をときどき攪拌しながら藻類の培養を行った。恒温培養室(180×180×180 cm, 鳥取大学砂丘利用研究施設大型ガラス室に設置)は自然光を採り入れるように透明アクリル板の天井をもち、内部に3段の棚を設けたものであるが、各段のそれぞれに3種富栄養化処理を行ったビーカーを置いた。晴天の正午頃における最上段中央部の照度は3～4

万 μ であったが、この場合、中段および最下段の中央部照度はそれぞれ最上段の1/10および1/100程度であった。この実験は1988年10月12日から11月7日までの28日間に亘って行った。

培養を始めてそれぞれ7, 14, 21および28日後にビーカー内容部をよく攪拌したのち、5 mlを採取して藻類の検索と細胞数の計測に供した。供試原水の水質調査の結果を表1に示した。

b) 藻類の検索および計数法

採取した試料水5 mlに5%になるようホルマリンを加えて固定した。この中から0.1 mlを採取し、顕微鏡下で藻類の種類毎に細胞数を計数した。これを3回繰り返して1 ml中の細胞数に換算した。

実験2. 環境制御条件下における藻類の増殖

この実験は河川原水に栄養塩を添加して富栄養化した場合に、藻類の増殖に対する温度と照度の相互作用を検討するために行った。

a) 実験装置

鳥取大学砂丘利用研究施設のアリドトロン施設内のグロースキャビネット3基を使用した。

b) 実験処理の内容

供試原水は前記実験の場合と同様、矢下頭首工から11月下旬に採取したもので水質は表2に示すとおりである。この原水に次の3処理を行った。

i. 処理A：原水にN(KNO_3)およびP(KH_2PO_4)を1.5 ppmおよび0.5 ppm添加。

ii. 処理B：原水900 mlに培養藻類を含む液100 mlを添加。

iii. 処理C：処理Bにさらに処理Aの場合と同じN, P濃度になるように栄養塩を添加。

C) 温度および光条件

温度条件は25, 30および35°Cの3段階で、各温度にそ

れぞれ1基のグロースキャビネットをあてた。相対湿度は各温度に共通に60%とした。

グロースキャビネット内に4段の棚を設け、天井光源からの距離と遮光ネットによる遮蔽処理を組み合わせ、各棚の照度がそれぞれ40, 4 $\times 10^2$, 40 $\times 10^2$ および400 $\times 10^2$ μ となるよう調節した。それぞれの棚に4種処理区の培養ビーカー（1 l透明プラスチック製）を置き、1988年12月2日から15日間に亘って培養を続けた。

d) 藻類の検索と計数法

前記実験1の場合と同様である。

実験結果および考察

(1) 実験1. 自然光条件下における藻類の発生

28日間の培養実験で各処理区に共通して発生した主要な藻類は、緑藻類の*Dictyosphaerium pulchellum* Woodと*Scenedsmus* spp., それに珪藻類であった。その他にも藍藻類、鞭毛藻類、繊毛虫類、アメーバー等が認められた。観察された主な藻類の形態を写真A~Hに示した。

恒温室内の最上段で培養した各処理区の藻類の増殖曲線を図1に示した。

3処理区ともに1週間ほどで急激な増加がみられた。そして、ほぼ2週間後には定常期に達し、このときにおける細胞数は添加栄養塩濃度に比例している。しかし、特に栄養塩濃度の高いC区では21日以降再び急激に増加した。一般には藻類に利用可能な栄養塩の総量が、藻類個体群の動態を支配する上で重要な要因となるが、特に過栄養条件では多量に存在するPがある種の藻類を大量発生させる可能性が指摘されている³⁾。したがって、C区における21日以降の急激な増加は単独種の増殖によることが考えられる。

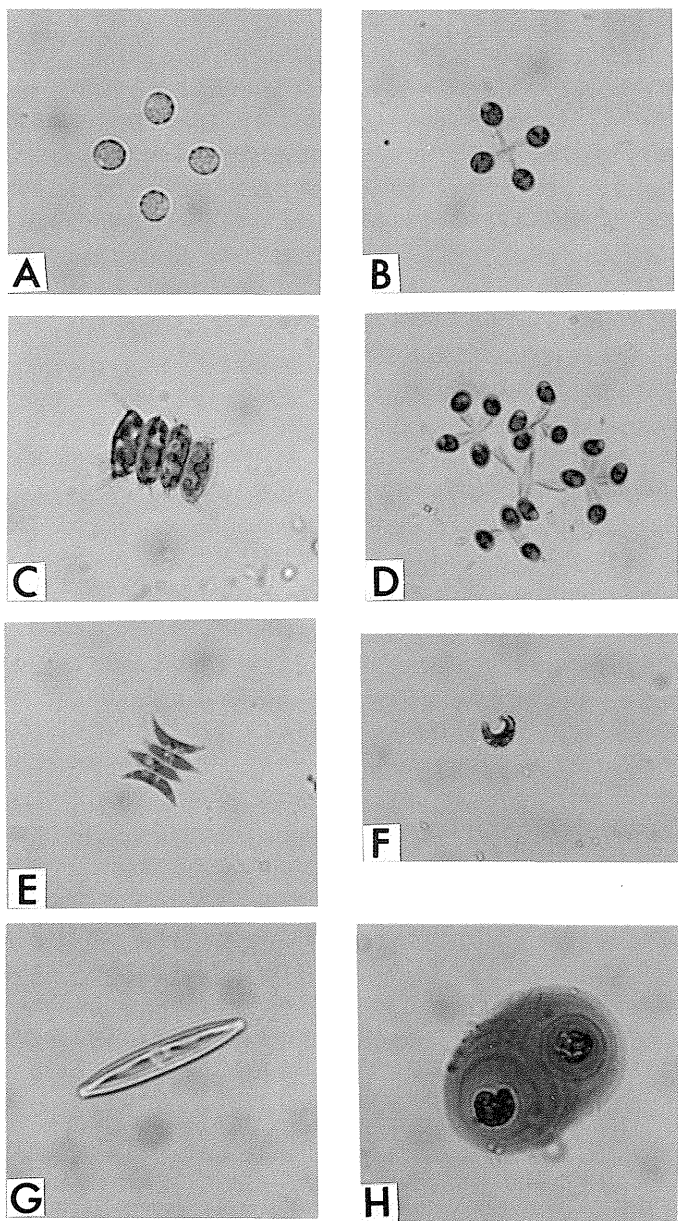
つぎに、それぞれ照度条件の異なる3段の棚上で培養したA区(N0.5, P0.05 ppm)について、28日後におけ

表1. 加勢蛇川矢下頭首工（鳥取県東伯町）の水質（実験1）

pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SS (ppm)	DO (ppm)	COD (ppm)	全N (ppm)	全P (ppm)
7.08	97	3.7	12.1	0.45	2.18	0.03

表2. 加勢蛇川矢下頭首工（鳥取県東伯町）の水質（実験2）

pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SS (ppm)	DO (ppm)	COD (ppm)	全N (ppm)	全P (ppm)
7.11	96	0.4	14.2	0.59	0.21	0.05



A,B,D: *Dictyosphaerium pulchellum* W_{OOD}

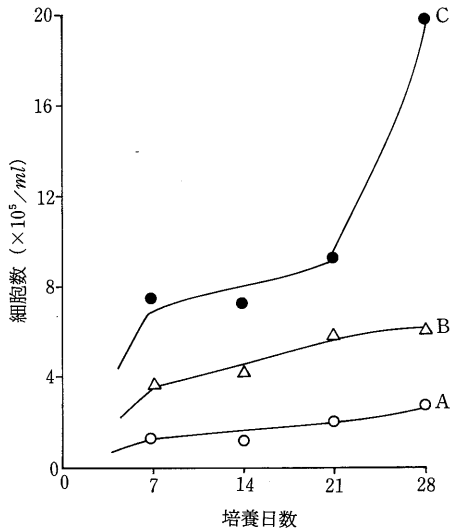
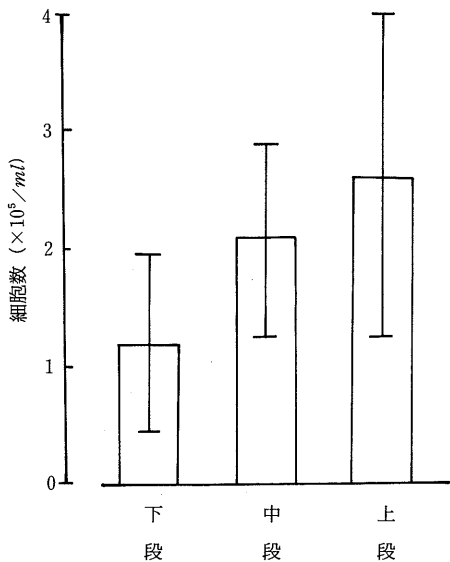
C,E: *Scenedesmus*

F: *Ankistrodesmus*

G: *Navicula*

H: *Gloeocapsa*

写真 検索された主要藻類

図1 最上段(3~4×10⁴lx.)における藻類の増殖曲線図2 培養開始28日後におけるA区の藻類発生量
(平均値±標準偏差)

る藻類の発生量を図2に示した。

同一棚上でも培養ピーカーの位置によって発生量にはかなりの変動がみられている。しかし、平均値は最下段のものが最も低く、照度が藻類の発生に大きな影響を与えていると考えられる。平と宝月⁶⁾も水田における藻類量

の消長には、水田水面の照度が影響することを認めている。

(2)実験2. 環境制御条件下における藻類の発生

原水区および処理A区(富栄養化処理)の培養開始15日後における藻類の発生量を表3に示した。

本実験では、照度が40lx.の条件下では藻類の発生が殆ど認められなかった。15日後は前記実験1の結果から推して藻類の増加がほぼ定常期に達していると考えられるが、原水区は藍藻類の*Phormidium*の発生量が最も多く、ついで緑藻類の*Chodatella*と珪藻類の発生が多かった。その外にもごく少量ではあったが緑藻類の*Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*および*Ankistrodesmus*が検索された。各温度における発生状況を見ると、25°Cでは緑藻類の*Chodatella*が多量に発生したのに対して、30°Cではこれが減少しており、4×10²~40×10²lx.の範囲内ではあるが*Scenedesmus*, *Phormidium*および珪藻類が増加している。35°Cになると原水区には藻類の発生は殆ど認められていない。

一般的に言えば、藻類の増加に対する照度の効果は藻類の種類によって異なるが、温度条件によっても異なっている。細胞数からみると、25°Cでは40×10²lx.以上で、また30°Cでは40×10²lx.以下で増加量が多い。

一方、処理A区についてみると、35°Cにおいても藻類の増加が著しく、富栄養化処理によって藻類の組成に明らかな変化が生じている。

全般的に言えば、原水区で殆ど認められなかった緑藻類の*Dictyosphaerium*や*Eudorina*, *Scenedesmus*の外に珪藻類が増加している。また30°C, 400×10²lx.の条件に限られているが藍藻類の*Gloeocapsa*の増加が著しい。

平ら⁶⁾は水田藻類を非施肥区と施肥区で比較し、施肥区は非施肥区と異なって、7月下旬になると、*Scenedesmus*を最優占種とし、*Ankistrodesmus*などによる緑藻類の増殖がみられると報告し、さらに培養実験の結果から*Scenedesmus*の増殖は高いNおよびP濃度に依存すると推定している。したがって、処理A区で*Scenedesmus*が増加したのは栄養塩添加に原因していると考えられる。

次に培養藻類を接種した処理BおよびC区について、実験開始9, 12および15日後の調査結果を図3~5に示した。

藻類の増加量を図3によってみると、栄養塩無添加のB区では9日後の場合、温度は照度の条件を超えて細胞数に影響を与えており、低温ほど増加している。12日後になると、各温度における細胞数の消長は照度によっても異なり、25°Cでは照度が大きいほど減少し、30°C以上で

表3. 原水区および処理A区における藻類の発生量 (15日後)

処理	温度 (°C)	照度 ($\times 10^2$ lx.)	細胞数 ($\times 10^4$ / ml)				
			緑藻-1 ^{a)}	緑藻-2 ^{b)}	藍藻-1 ^{c)}	珪藻類	その他
原水	25	400	—	2.91	10.86	0.21	0.03
		40	—	3.45	2.88	0.15	—
		4	—	1.65	6.39	0.06	0.03
	30	400	0.12	—	0.66	—	—
		40	—	0.33	22.29	0.30	0.27
		4	—	0.09	44.10	0.33	0.36 ^{S)}
	35	400	—	—	—	—	—
		40	—	—	—	—	—
		4	—	—	—	—	—
	25	400	5.07	—	6.15	0.21	—
		40	—	—	10.80	1.02	3.12 ^{E)}
		4	—	—	11.25	0.54	0.78 ^{S)}
A	30	400	—	8.37	6.09	10.65	1.92
		40	2.58	—	0.66	1.74	1.38 ^{S)}
		4	0.96	—	—	0.12	1.26 ^{S)}
	35	400	34.92	0.45	—	—	0.18
		40	0.54	—	23.7	0.99	—
		4	0.21	—	19.8	2.79	0.78 ^{S)}

a) : *Dictyosphaerium*b) : *Chodatella*c) : *Phormidium*E) : *Eudorina* (緑藻類)S) : *Scenedesmus* (緑藻類)

は 40×10^2 lx. で最も多くなっている。

なお、15日後に 30°C , 400×10^2 lx. で大発生が認められているが、これは後にもふれるように、藍藻類 *Phormidium* の特異的増加によるものである。

B 区の結果に対して栄養塩を添加した C 区では、9 日後の細胞数に照度がより大きな影響を与えており、 40×10^2 lx. の条件下で増加速度が最も大きい。15 日後では温度条件も明らかに増殖に影響を与えており、細胞数は温度については $35^\circ\text{C} > 25^\circ\text{C} > 30^\circ\text{C}$ 、また照度については $40 \times 10^2 > 400 \times 10^2 > 4 \times 10^2$ lx. となっている。

次に実験期間中の藻類組成の変化を図 4 および 5 によってみると、どの場合にも *Dictyosphaerium* が優占種となっている。特に 35°C で培養した場合、初期の増加は殆ど *Dictyosphaerium* によって占められている。他の温度条件下に置いた場合でも、大部分が *Gloeocapsa* と *Ankistrodesmus* を加えた 3 種類によって構成されている。

培養開始 9 日後における主要藻類の発生状況を環境条件によって比較すると、 30°C 以下の温度では、栄養塩の乏しいときには *Dictyosphaerium* と *Gloeocapsa* が主要種を構成するのに対して、栄養塩が添加されると、これらの 2 種が増加するのに加えて、*Ankistrodesmus* も増加している。しかし、 30°C では優占種以外の 2 種は栄養条件にかかわらず、 400×10^2 lx. の下では殆ど認められていない。さらに 35°C になると、栄養塩が加えられても藻類相は *Dictyosphaerium* の単独で占められている。

同様に 15 日後の状況を見ると、 25°C では優占種である *Dictyosphaerium* は減少する傾向があり、特に栄養塩を添加した区では、これに代わって低照度でも *Gloeocapsa* が増加している。また、 30°C では照度が増大して 400×10^2 lx. になると *Gloeocapsa* が減少する一方、*Ankistrodesmus* が増加する傾向がある。さらに温度が 35°C に上昇すると、優占種の外にも 2, 3 の藻類が発生してくる。特に、栄養

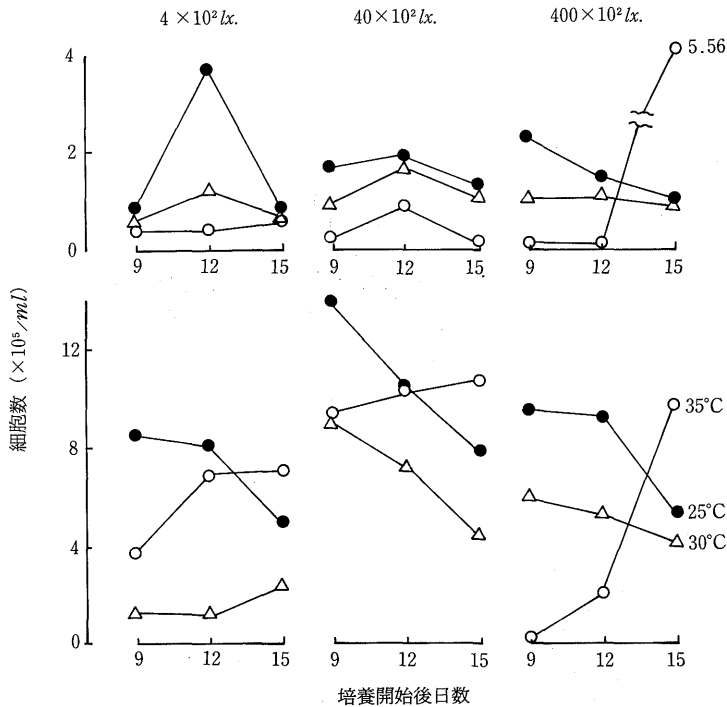


図3 培養条件による細胞数の変化
(上段はB区、下段はC区)

塩が不足している場合には、先に述べたように $400 \times 10^2 \text{ lx}$ で *Phormidium* が大発生している。

以上の諸結果を一括すると、*Dictyosphaerium* は培養開始後、比較的早くから優占種として増加しているが、その速度は温度が低いほど、そして $400 \times 10^2 \text{ lx}$ のような高い照度条件下で大きくなっている。しかし、この場合でも栄養塩濃度が高いと、より照度の低い $40 \times 10^2 \text{ lx}$ で大きな増加速度を示す。一方、 35°C のような高温になると、藻類の発生量が少なく、種類も限られている。栄養塩の濃度によっては遅れて増殖が始まり、すでに他の区 (30°C 以下) の細胞数が減少するようになってからでも増殖速度が大きくなっている。

要 約

昭和54年以来、鳥取県中部農業地域を対象に、国営水利事業による畑灌施設の設置計画が進められている。その一環として、西高尾ダム集水域の主要河川について水質調査が行われてきたが、その結果によると、一部の河川水は明らかに富栄養化の傾向にあって、貯留池あるいは調整池における藻類の発生が懸念されている。

したがって、本研究では藻類発生の適切な制御対策を確立するための基礎的資料を得るのを目的として、自然光条件下および光、温度などの環境を制御した条件下で、藻類の発生と消長について二、三の実験を行った。

1. 鳥取県東伯町加勢蛇川上流の矢下頭首工から採取した原水にNが0.5, 1.0および1.5mg/lに相当する KNO_3 とPがNの1/10量に相当する KH_2PO_4 を加えた。これらの液1lを天井から自然光を採り入れた恒温室内の照度条件が異なる3段の棚上に置き、 25°C で28日間藻類の培養を行ったところ、

(1)28日間の培養で発生した主要な藻類は、緑藻類 *Eudorina*, *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Chodatella*, 藍藻類 *Gloeocapsa*, *Phormidium*, それに珪藻類であった。これらのうち、各処理区に共通して発生した藻類は *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus* および珪藻類であった。

(2)培養を開始してほぼ2週間後、藻類の増殖速度は定常期に達したが、このときにおける細胞数は添加栄養塩の濃度に比例していた。また、照度の最も低い最下段の棚上で培養した区の細胞数が最も少なかった。

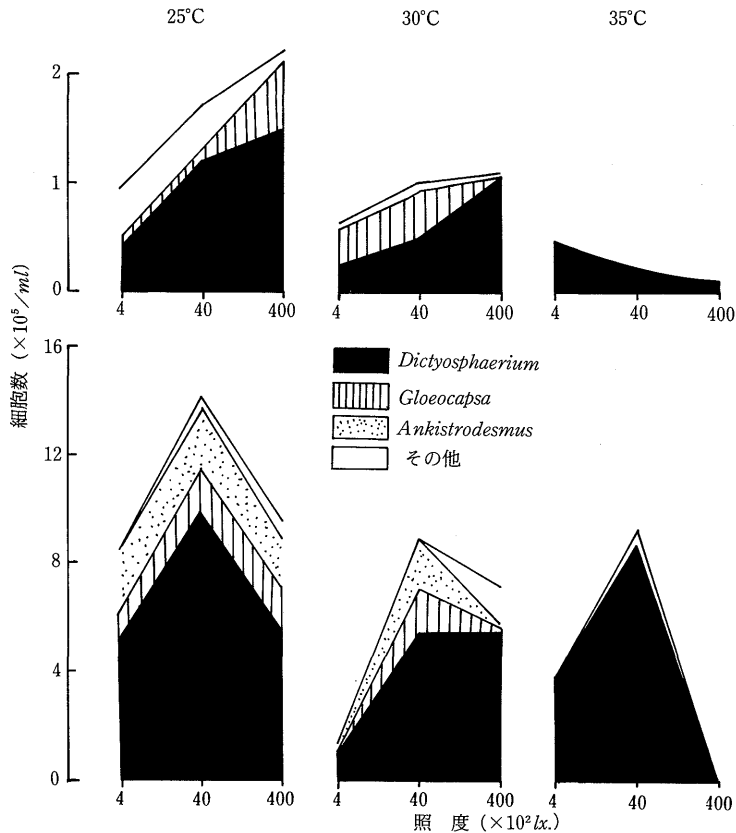


図4 培養開始9日後の藻類細胞数
(上段はB区、下段はC区)

2. 供試原水に栄養塩を添加した区を原水区とともに3段階の温度(25, 30, 35°C)と4段階の照度(40, 4×10^2 , 40×10^2 , $400 \times 10^2 \text{ lx}$)を互いに組み合わせた環境下において15日間培養を行ったところ、

(1)原水区、栄養塩添加区ともに40 lx の条件下ではほとんど藻類の発生は認められなかった。

(2)藻類の増加に対する照度の効果は温度条件によっても異なり、25°Cでは40 $\times 10^2 \text{ lx}$ 以上で、また30°Cでは40 $\times 10^2 \text{ lx}$ 以下で増加量が大きかった。

(3)栄養塩を添加すると、藻類の組成には明らかな変化を生じ、原水区では認められなかった緑藻類 *Dictyosphaerium* の外に、*Eudorina* と *Scenedesmus* が増加した。

(4)原水に栄養塩を加えるとともに培養藻類を接種して培養を続けると、9日後までの増殖には照度がより大きな影響を与え、細胞増加量は40 $\times 10^2 \text{ lx}$ の条件下で最も大

きかった。しかし、15日後では温度条件も増殖に影響しており、細胞数は温度については $35 > 25 > 30^\circ\text{C}$ 、また照度については $40 \times 10^2 > 400 \times 10^2 > 4 \times 10^2 \text{ lx}$ であった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、農林水産省東伯農業水利事業所中島賢二郎所長並びに小澤興宏工事第一課長を始め、中国農政局の方々に種々ご便宜を計っていただいた。また、グロースキャビネットの環境設定および管理に関して鳥取大学砂丘利用施設上山逸彦技官のご助力をいただいた。ここに記して厚くお礼を申し上げる。

文 献

- 1) 増島博：農業土木技術者のための水質入門(その2) —水質と作物生育—。農業土木学会誌, 52 817-822 (1984)

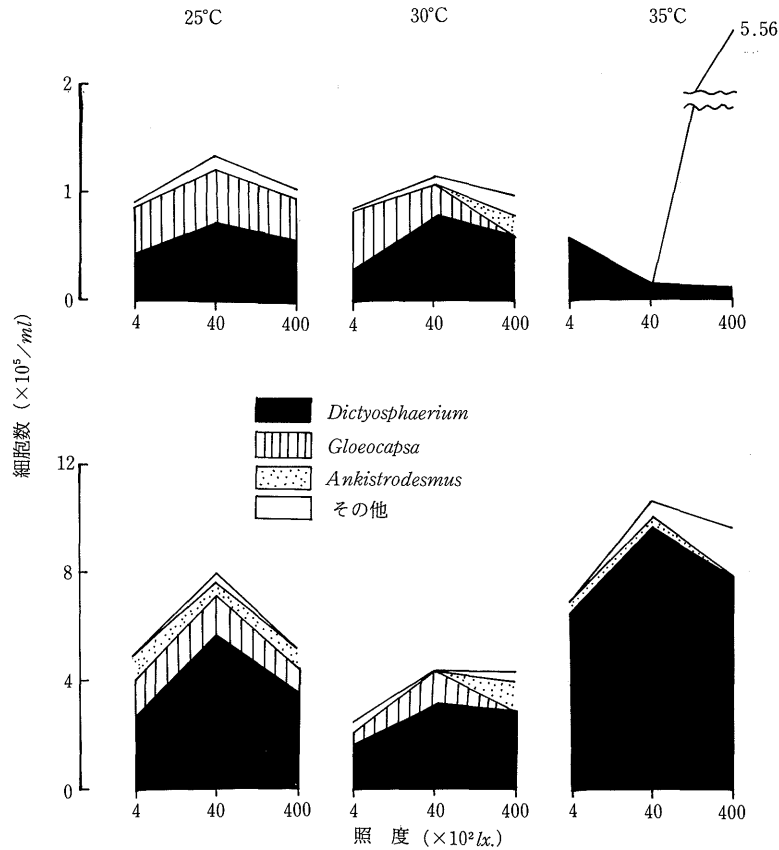


図5 培養開始15日後の藻類細胞数
(上段はB区、下段はC区)

- 2) 中島賢二郎・小澤興宏・松岡直之・山本太平・藤山英保・松島智起：東伯地区における水質調査体制の確立—新規灌漑水源の富栄養化と水質障害対策(1)：平成元年度農業土木学会講演要旨集，230～231頁(1989)
- 3) Ogata, Y. : Net Increase Rates and Dynamics of Phytoplankton Population under Hypereutrophic and Eutrophic Conditions. *Jpn. J. Limnol.*, 49 261-268 (1988)
- 4) 田淵俊雄・小川吉雄：農業土木技術者のための水質

入門(その5)—農地からの窒素，リンの流出—。
農業土木学会誌，52 1101-1106 (1984)

- 5) 高村義親・岡田光正：農業土木技術者のための水質入門(その4)—湖沼の水質と富栄養化—。農業土木学会誌，52 1013-1019 (1984)
- 6) 平誠・宝月欣二：水田における施肥とプランクトン群集の種組成の関係。陸水学雑誌，48 77-83(1987)
- 7) 安富六郎：世界の窓—イスラエル農業事情—。農業土木学会誌，56 811-815 (1988)